

出國報告（出國類別：實習）

再生能源電能管理技術

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：吳成有，化學資深研究專員

派赴國家：日本

出國期間：104.4.19~104.4.28

報告日期：104.6.25

目次

目次	1
圖表目錄	1
壹、目的	3
貳、行程與工作概要	4
參、研習內容	5
3.1 東芝株式会社	5
3.1.1 SCiB 電池簡介	6
3.1.2 SCiB 電池儲能與電能管理	9
3.2 日本礙子(NGK)株式会社	10
3.2.1 NaS 電池簡介	11
3.2.2 NaS 電池儲能與電能管理	12
3.3 住友電氣工業株式会社	14
3.3.1 VRFB 電池簡介	15
3.3.2 VRFB 電池儲能與電能管理	16
3.4 LE SYSTEM 株式会社	18
3.4.1 VRFB 電解液製備	20
3.4.2 おおき循環センターくるるん園區	29
肆、心得及建議	24

圖表目錄

圖 1. SCIB 快充特性曲線	6
圖 2. SCIB 循環壽命圖	6
圖 3. 東芝所推出之家庭用鋰離子電池儲能系統.....	8
圖 4. 20 呎貨櫃型 300 kW/100kWh SCIB 儲能系統組成示意圖	9
圖 5. 東芝參與橫濱智慧城市計劃中蓄電池 SCADA 示範站及其測試數據.....	9
圖 6. 1MW/2MWh SCIB 儲能系統組成示意圖	9
圖 7. 東芝MEMS 微型能源管理系統功能	10
圖 8. 東芝MEMS 微型能源管理系統作業模式	10
圖 9. 森ヶ崎水再生センター電力設施圖.....	11
圖 10. NAS 發展里程碑	12
圖 11. NAS 建置量與處所分佈圖	12
圖 12. NAS 單電池組成與原理示意圖	12
圖 13. NAS 電池削峰填谷模式	13
圖 14. NAS 電池再生能源平滑化模式	13
圖 15. NAS 電池再生能源頻率調整模式(宮古島實例).....	13
圖 16. 200 kW NAS 貨櫃型儲能系統實體照片(33 kWx6 MODULE)	13
圖 17. 200 kW NAS 貨櫃型儲能系統組成示意圖	13
圖 18. 商業化 2MW NAS 儲能系統模組尺寸及人員對照示意圖.....	13
圖 19. 大林組技術研究所主樓通風防震示意圖.....	14
圖 20. 大林組技術研究所儲能設施相關電力系統示意圖.....	15
圖 21. 住友電工橫濱製作所儲能設施相關電力系統示意圖.....	15
圖 22. 鈦電池儲電原理示意圖.....	15
圖 23. VRFB 的電池管理模式	17
圖 24. VRFB 按排程執行放電的真實運轉數據記錄.....	17
圖 25. VRFB 太陽能發電平穩化模式真實運轉數據記錄.....	17
圖 26. VRFB 風力發電平穩化模式真實運轉數據記錄.....	17

圖 27. VRFB 頻率調整模式.....	17
圖 28. VRFB 在混合式能源微型電網的運轉模式.....	18
圖 29. 住友電工 SEMSA 的特性.....	18
圖 30. 燃石油焦(PETROLEUM COKE)電廠回收鈳氧化物程序.....	錯誤! 尚未定義書籤。
表 1. SCIB 單電池規格表.....	6
表 2. SCIB 電池模組(2P12S)規格表	7
表 3. 東芝所推出之家庭用鋰離子電池儲能系統規格.....	8
表 4. SEI 推動的 VRFB 應用實例	16
表 5. 日本新興化工之電力事業相關鈳化合物產品.....	20
表 6. 燃油電廠集塵灰物理及化學成分分析表	21
照片 1. 東芝未來科學館	5
照片 2. 東京電力網島變電站 TOSHIBA 300 kW SCIB 儲能電池	5
照片 3. SCIB 短路試驗	7
照片 4. 從東京モノレール昭和島車站月台可以看到的 NAS 蓄電池組	11
照片 5. 8MW NAS 儲能系統 (2MWx4 PANEL , 50 kWx40 MODULE)	14
照片 6. 大林組技術研究所主樓研究室俯視照片	14
照片 7. くるるん園區自助式午餐	18
照片 8. くるるん園區餐廳外景色	19
照片 9. くるるん園區餐液肥貯存槽	19
照片 10. くるるん園區發酵槽及沼氣貯存槽	19
照片 11. くるるん園區資源化再利用說明看板	23

壹、目的

依 104 年度「再生能源儲電及燃料電池發電關鍵技術研究」計畫，所規畫之出國計畫內容，派員前往美國、日本或大陸研習有關再生能源儲電，燃料電池關鍵材料與電能管理技術等，本年度針對電能管理技術，對各國先進相關技術進行收集、歸納與評估外；另將派員赴國外參加國際型會議或直接與專業廠商及業者技術交流以提昇研究品質，掌握研究領域的發展趨勢與實況，經交流機會吸收經驗將有利於相關研究計畫的推行與完成

實施要領及要求成果：選派相關研究領域同仁赴國外參加國際型會議與展覽，並前往具有專業技術、前瞻性產品之公司機構研習。研習之內容以符合研究計畫所規畫項目為原則，以達成技術引進、學習新知及擴展研發智能之目標。為能達成本年度研究計畫目標，本次派員出國之成果至少包括：

- (1) 赴東芝株式会社研習蓄電池以及蓄電 SCADA 系統，並參訪網島變電所及橫濱智慧城市計畫相關電池管理技術。
- (2) 赴住友電工橫濱及大阪製作所及全鈦液流電池實驗室，研習電網級全鈦液流電池於再生能源貯電應用之設計、操作、維護及測試技術。並對與電網連結時電能管理之演算、控制及相關之電能轉換技術進行資料收集，以做為相關領域後續研究之基礎。
- (3) 赴 NGK 株式會社，研習鈉硫電池在微電網及變電所之應用技術，擬針對鈉硫電池之系統安全性設計、電能管理與電能轉換、測試方法進行評估。並在未來有機會引進時，預先建立評估準則、試驗程序與方法，同時瞭解其維護與保養之標準等實用性技術。
- (4) 赴 LE System 株式會社，研習全鈦液流電池電解液之製備技術，著重於從油灰提煉鈦之化工程序及製程中所採用的電極材料相關資料收集。並探究高耗能電解廠搭配負載需量反應，進行尖離峰負載調節之電能管理技術與可行性評估。

貳、行程與工作概要

日期	研習單位	研習內容
104.4.19		往程
104.4.20	東芝株式会社	研習蓄電池以及蓄電 SCADA 系統，並參訪網島變電所及橫濱智慧城市計畫相關電池管理技術
104.4.21	住友電氣工業株式会社	前往住友電氣工業株式会社橫濱製作所研習 VRFB(全鈳氧化還原液流電池)儲能與電能管理技術
104.4.22	住友電氣工業株式会社 日本礙子(NGK)株式会社	住友電氣工業株式会社研習 VRB 貯電應用技術，日本礙子(NGK)株式会社汙水處理廠 NaS 應用及電能管理
104.4.23	日本礙子(NGK)株式会社	前往日本礙子(NGK)株式会社研習鈉硫電池安全評估與儲電能管理技術
104.4.25	住友電氣工業株式会社	前往住友電氣工業株式会社大阪製作所研習 VRFB(全鈳氧化還原液流電池)
104.4.27	LE system 株式会社	赴 LE System 株式会社，研習全鈳液流電池電解液之製備技術，著重於從油灰提煉鈳之化工程序及製程中所採用的電極材料相關資料收集。
104.4.28		返程

參、研習內容

3.1 東芝株式会社

此次之研習時間為一日，東芝安排的行程包括：早上在 Kawasaki headquarter(位於川崎市之東芝未來科學館 3F，照片 1.) 的 Technical presentation 以及座談，以及下午的 TEPCO Tsunashima Substation (東京電力網島變電站)的參訪。該變電所是橫濱智慧城市計劃(Yokohama Smart Community Project; YSCP)中有關於蓄電池資料採集與監控系統(Supervisory Control and Data acquisition; SCADA)的示範站，其蓄電池組成共由三個系統所構成包括：Toshiba 儲能電池 300 kW, Hitachi 儲能電池 100 kW, 以及 NEC and Meidensha Corporation 共同開發之儲能電池 200 kW, 總功率為 600 kW。



照片 1. 東芝未來科學館



照片 2. 東京電力網島變電站 TOSHIBA 300 KW SCIB 儲能電池

3.1.1 SCiB 電池簡介

SCiB(Super Charge ion Battery)是東芝所研發的新型鋰離子電池，具有 6 分鐘可充電達 80% 電池容量，10 分鐘完成充電的快速充電特性，圖 1。另具有高安全性高、高能量密度、壽命長(10,000 次循環充電放電仍保有 90%的電池容量，圖 2.)及耐低溫(最低工作溫度可達-30°C)等特點。

圖 1. SCiB 快充特性曲線

圖 2. SCiB 循環壽命圖

東芝的 SCiB 電池原為車用電池，自 2008 年起進入量產，其單電池為 2.3V/20Ah 其規格如表 1.所列，目前用於鈴木汽車品牌 Wagon R 與 Hustler。近年則擴張應用範圍，從小規模發電的一般家庭、零售商店等，到大型太陽能發電廠。SCiB 與一般鋰離子電池最大的差異在於其高安全性，一般的鋰電池的負極材料為石墨，在大功率輸出電力，或是在低溫環境使用，電極材料的品質將隨著使用時間增加而降低，甚至會從負極析出鋰金屬，同時所析出的鋰金屬會突穿正極與負極之間的隔離膜材料，因而導致正負極短路，甚至引起火災。由於 SCiB 電池所使用的是鈦酸鋰(Lithium titanate)，不會解析出鋰金屬，也不會發生自燃，與電解液的化學反應也較不激烈，因此即使出現短路也不會因產熱而發生火災(圖 3.)。但 SCiB 電池的單價較其他充電電池，如 VRB 電池、NAS 電池高。

表 1. SCiB 單電池規格表

公稱電壓	2.3V (電壓範圍 1.5V~2.7V)
公稱容量	20 Ah
能量密度	176Wh/L
單電池尺寸	115(W) x 22(D) x 105(H)mm
單電池重量	515g

資料來源：<http://www.sccc.co.jp/product/battery/product-1.html>

照片 3. SCiB 短路試驗

由於 SCiB 單電池的容量僅有 20Ah，因此組成電動車電源或者儲能系統時會先行組成電池模組(Module)並接上電池監控單元 BMU (Battery Monitoring Unit)用以監測單電池電壓及溫度，標準的 2 並 12 串模組的規格如表 2.所說明。

表 2. SCiB 電池模組(2P12S)規格表

公稱電壓	27.6V (電壓範圍 18V~32.4V)
公稱容量	40 Ah
機能	單電池電壓/溫度監視
單電池尺寸	359(W) x 187(D) x 123(H)mm
單電池重量	14 kg

日本政府為鼓勵住家與企業使用儲能設備系統，由經濟產業省執行補貼政策其名稱為「定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費」(リチウムイオン：鋰離子)，針對容量 1kWh 以上具備有變流器 Inverter、轉換器 Converter 以及能量調整 Power Condition 等電力轉換裝置整體式組成的鋰離子電池系統進行補助，補助的對象包括日本國內個人、法人(可租賃)、新電源經營者等。設備經代表經濟產業省的一般社團法人環境共創イニシアチブ(Sustainable open Innovation Initiative, SII)審核通過，可以獲得 1/3 購買價格補助款。平成 23 年度(西元 2011)修正預算通過本案之預算總額為 210 億日元，補助上限住宅用(個人)為 100 萬日元，事業用(法人) 為 1 億日元，實施日期從 2012/3/30~ 2014/3/31。由於該補助金申請相當踴躍因此預算很快用完，在平成 26 年度增列 130 億日元預算，名稱仍為「定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費」，按實際購買電池價格及目標價格差價的三分之二進行補助，補助上限住宅用(個人)為 100 萬日元，事業用(法人) 為 1 億日元，實施日期從 2015 年 3 月 30~ 2015 年 12 月 28 日。表 3.為東芝推出符合日本經產省「定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費補助金(平成 26 年度補正予算)」補助對象的機種基本規格以及市場價格。

圖 3. 東芝所推出之家庭用鋰離子電池儲能系統

資料來源：http://feminity.toshiba.co.jp/feminity/service/enegoon_basic4sub.html

表 3. 東芝所推出之家庭用鋰離子電池儲能系統規格

形名		ENG-B6630A2-N	ENG-B4425A2-N
負荷接統方式		系統連系型	
蓄電池部	電池種類	東芝製リチウムイオン二次電池 SCiB™	
	蓄電容量	6.6kWh	4.4kWh
	充電時間	通常充電時: 約 4 時間 急速充電時: 約 2 時間	通常充電時: 約 3 時間 急速充電時: 約 2 時間
入力	定格電圧	通常時: 单相三線式 200V 停電時: 单相二線式 100V, 太陽光発電自立運転用入力端子付き	
	周波数	50/60Hz	
出力	定格電圧	通常時: 单相二線式 200V (单相三線に接続) 停電時: 单相二線式 100V	
	定格電力	通常時:3.0kVA 停電時:2.0kVA	通常時:2.5kVA 停電時:2.0kVA
	周波数	50/60Hz	
使用条件	設置場所	屋外	
	使用温度範囲	-20°C ~ 40°C	
	使用湿度範囲	10~95% RH (但し結露なきこと)	
本体構造	外形寸法	780mm×300mm×1,000mm	780mm×300mm×850mm
	質量	138 kg	110 kg
希望小売価格		2,700,000 円 (税抜)	2,100,000 円 (税抜)

東芝除了參與經產省的家庭用儲能系統的驗證之外，也以 Module 組成電池櫃 (Battery Panel)，每單一個電池櫃設置一具 BMS(Battery Management System)來管理電池模組，BMS 與 SCADA 連結構成 EMS(Energy management System)的大型儲能系統參與橫濱智慧城市計劃。圖 4. 即為 20 呎貨櫃型 300 kW/100kWh SCiB 儲能系統組成

示意圖，在橫濱智慧城市計劃中蓄電池 SCADA 示範站(設置於東京電力網島變電站)及其測試數據如圖 5.所說明，此地即為此次研習東芝安排的參訪處所。按同樣的方法可以配置出 MW 級的儲能系統，圖 6.所說明的架構即為 1MW/2MWh SCiB 儲能系統。

圖 4. 20 呎貨櫃型 300 kW/100kWh SCiB 儲能系統組成示意圖

圖 5. 東芝參與橫濱智慧城市計劃中蓄電池 SCADA 示範站及其測試數據

圖 6. 1MW/2MWh SCiB 儲能系統組成示意圖

3.1.2 SCiB 電池儲能與電能管理

東芝利用其所擅長的智慧家電、資通訊技術、電網能量管理技術等結合關鍵的 SCiB 電池儲能技術投入家庭能源管理系統(Home Energy Management system; HEMS)，市場，欲從電力的可視化、雲端計算打造出智慧型家庭、智慧社區乃至智慧城市的生活環境提供解決方案。以能源管理為核心實現高品質，高附加值的智能家居服務，減少二氧化碳排放量，改善生活品質。強調通過可視化的能量平衡，提供有關於能源佈置、儲能設備配置以及如何節省能源達到最佳控制的建議方案，以減少能源使用量。例如通過智慧型手機進行遠端操控家電用品，像關閉在無意中留在燈光，或到家之前將空調開啟等使生活更加將輕鬆舒適的。也可以通過對講機影像檢查訪客或警示系統檢查使生活更安全可靠，利用家庭雲提供生活醫療、教育、娛樂等服務。連接家庭與社區提供全新的智慧生活方式。東芝的大型電池儲能系統提供可再生能源不穩定性的解決方案，以應對全球氣候變暖。東芝的大型電池的能量儲存系統結合 μ EMS(微型能源管理系統)，進行儲能系統的充電，並且響應於來自可再生能源的發電量適時調整電力釋放，使電網運行更加穩定且環保。

圖 7. 東芝 μ EMS 微型能源管理系統功能

東芝 μ EMS 微型能源管理系統架構與功能如圖 7.所說明，可知該系統已然具備相當完整的能源端的發電排程管理與預測，儲能設備調控與管理，負載端的管理與負載預測，以及參與需量反應的機制。圖 8. 東芝 μ EMS 微型能源管理系統作業模式，可以針對需求，選用不同的操作模式，至少有如圖所說明之 Micro grid control, Frequency control, PV/WT smoothing, EC charging package, Power control Volt/Var control, Economical control peak shifting 等 6 種模式。

圖 8. 東芝 μ EMS 微型能源管理系統作業模式

3.2 日本礙子(NGK)株式会社

此次 NGK 株式会社安排一天半的研習時間，內容包括：(1)東京森ヶ崎水再生センター污水處理廠參訪，除了瞭解污水處理廠的業務、運作方式外，也希望對鈉硫電池的應用實務有較深入的認識，例如用於負載平衡的功能、NaS 的管理系統以及 NaS 的預先設定功能等。(2)在 NGK 名古屋小牧工廠的參訪，內容包含了 NaS 電池的生產流程參觀，NaS 電池生產的技術及科技資訊蒐集，並針對 NaS 電池安全性相關的疑問討論等。小牧工廠是 NaS 電池的重要生產基地，此行得以參觀單電池的製程實屬不易，對於其自動化生產的製程安排、嚴格的品管控制及陶瓷生產與接合技術留下深刻的印象，對於未來的技術引進與應用具有相當大的助益。

森ヶ崎水再生センター是屬東京電力 TEPCO(80%)與 MITSUBISHI(20%)的污水處理廠，是為日本礙子(NGK)株式会社 NaS 電池應用重要的實證示範場所之一。該廠重要的電力設施如圖 9.的說明。由於日本實施時間電價，所以森ヶ崎水再生センター建置了 8 MW 的 NaS 電池組進行離峰時段的儲能以因應尖峰時段電力的需求。

因進行事業重整而退出。不過 BBC 的研發成果後來透過與日本碍子株式會社的合資企業移轉 NGK。使得 NAS 電池商業化的時程大幅縮減，截至 2014 年 12 月已建置 450 MW/ 3000MWh 示範系統(日本國內 280MW，海外 170MW)，圖 11。

圖 10. NaS 發展里程碑

圖 11. NaS 建置量與處所分佈圖

鈉硫電池操作溫度約在 300°C 以硫磺為正極活性物質，以融熔態的金屬鈉為負極活性物質， β -氧化鋁陶瓷管為電解質。放電時鈉離子通過電解質與硫磺反應生成硫化鈉，充電時為逆反應。常用的電池是由一個液體電解質將兩個固體電極隔開，而 NaS 電池正相反，它是由固體電解質將兩個液體電極隔開，一個由 Na- β -Al₂O₃ 固體電解質做成的中心管，將內室的熔融鈉（熔點 98°C）和外室的熔融硫（熔點 119°C）隔開，並允許 Na⁺離子通過。整個裝置密封於不銹鋼容器內，此容器又兼作硫電極的集流器。在電池內部，Na⁺離子穿過固體電解質和硫反應從而傳遞電流，圖 12。

圖 12. NaS 單電池組成與原理示意圖

資料來源：<http://www.ngk.co.jp/product/nas/about/principle.html>

3.2.2 NaS 電池儲能與電能管理

NGK 憑藉著其特有的陶瓷技術，在 NaS 電池儲能領域獨領風騷，是目前唯一商業化的 MW 級蓄電池儲能系統。NaS 電池具有容量大、能源密度高、壽命長的特點，尺寸僅約為鉛電池的三分之一，可以長時間穩定地提供電力。最常的應用模式是在電力需求少的夜晚進行充電，在白天高峰期放電，從而削減最大電力使用量達到削峰填谷的效益如圖 13。亦具備緊急電源的功能，可因應停電和瞬間電壓下降問題。此外，對於受氣象影響而不穩定的風力發電和太陽能發電，經 NaS 電池充電後再放電而能夠穩定輸出電力達到平滑化的目的如圖 14，當然也同時具備單純的頻率調整功能如

圖 15. 大型 NaS 儲能電池的架構是由 192 顆單電池組成 33kW 的電池模組，6 組的電池模組裝入 20 呎的貨櫃組成了 200 kW 的儲能系統，如圖 16.及圖 17.。商業化產品以 2MW 模組為基準，高度 5 公尺左右如圖 18. 照片 5.為在森ヶ崎水再生センター所拍攝之 4 組 2MW 共 8MW 的 NaS 儲能系統。

圖 13. NaS 電池削峰填谷模式

圖 14. NaS 電池再生能源平滑化模式

資料來源：<http://www.ngk.co.jp/product/nas/about/function.html>

圖 15. NaS 電池再生能源頻率調整模式(宮古島實例)

資料來源：<http://www.okiden.co.jp/environment/report2014/sec7/sec74.html>

圖 16. 200 kW NaS 貨櫃型儲能系統實體照片(33 kWx6 module)

圖 17. 200 kW NaS 貨櫃型儲能系統組成示意圖

圖 18. 商業化 2MW NaS 儲能系統模組尺寸及人員對照示意圖



照片 5. 8MW NAS 儲能系統 (2MWX4 PANEL，50 KWX40 MODULE)

3.3 住友電氣工業株式会社

住友電氣工業株式會社的研習行程共有兩天的時間，分別參訪了橫濱與大阪兩個製作所，並且非常幸運的經住友電工接洽與安排有機會參觀了大林組技術研究所 (Obayashi Technical Research Institute) 的零耗能主館建築，實際體驗通風、舒適、自然採光的研究、辦公環境。除了通風節能的設計外，被動式的防震結構設計有效強化主館的防震能力。

照片 6. 大林組技術研究所主樓研究室俯視照片

圖 19. 大林組技術研究所主樓通風防震示意圖

此外，2014 年住友電工完成建置的全鈦氧化還原液流電池儲能系統亦為本次研習的重點之一，加上橫濱製作所也是國際上重要的全鈦氧化還原液流電池儲能系統示範場，此行得以一睹 2 處風采。由於本所與住友電工在 2012 年已經有設備引進與多次的技術人員交流，在互信的基礎上，此行得以參觀大阪製作所的全鈦氧化還原液流電池製造工廠實屬不易。對於其為自動化生產所做的製程安排、嚴格的品管控制留下深刻的印象，參觀內容對於未來的研究有相當大的助益，可說是不虛此行。

圖 20. 大林組技術研究所儲能設施相關電力系統示意圖

圖 21. 住友電工橫濱製作所儲能設施相關電力系統示意圖

3.3.1 VRFB 電池簡介

釩氧化還原液流電池(Vanadium Redox Flowing Battery, 縮寫為 VRFB), 是一種將電能儲在具有不同價態釩離子硫酸電解液中的一種蓄電池, 充電時正極電解液中的 V^{+4} 氧化成 V^{+5} , 負極電解液中的 V^{+3} 還原成 V^{+2} , 放電時為逆反應。利用外接泵分別把電解液抽離或壓入電池堆體內, 使其在不同的儲液罐和半電池的封閉回路中循環流動, 正負極之間以質子交換膜作為電池組的隔膜, 經由帶電荷的 H^+ 的傳遞形成迴路, 電解液則平行流過電極表面並發生電化學反應, 通過集電板收集和傳導電流, 從而使得儲存在溶液中的電能與化學能進行轉換。這個可逆的反應過程使釩電池順利完成充電、放電和再充電, 釩電池的工作原理如圖 22. 的說明。VRFB 儲能系統的模組化特性, 使得系統的輸出入功率可由電堆的數量決定, 而電解液的抽離儲存特性使儲電容量由電解液的體積決定。這樣的特色, 使得儲能系統的設計簡便而靈活, 如果一套系統需要較高的額定功率或者額外的儲電容量, 那麼簡單地增加電堆數量或者添加電解液就可以解決了, 此一特色使得釩液流電池在大型儲電領域的應用前景相當被看好。

圖 22. 釩電池儲電原理示意圖

VRB 技術 1980 年代發展於澳洲新南威爾斯大學(University of New South Wales ; UNSW), 1996 年澳洲 Pinnacle VRB 取得 UNSW 的 VRB 專利權並授權予日本住友電工(Sumitomo Electric Industries ; SEI)。此後, SEI 在日本推動幾項的專案進行 VRB 系統的儲電示範與驗證, 表 4. 列出了 SEI 在日本所推動的 VRB 應用實例。2005 年, SEI 公司獲得日本 NEDO 專案資助建成世界上規模最大的釩電池儲能系統用於苫前町(Tomammae)風電場儲能。該系統額定功率 4 MW, 最大功率 6 MW, 儲能時間 1.5 小時, 平穩風電場不穩定的功率輸出。該風電場位於日本 Hokkaido 島, 由 J-Power

公司負責運營，發電功率為 32 MW。該系統在 3 年的時間實現迴圈 270,000 次，並成功實現儲能系統 SOC 的即時監測管理，2008 年計畫結束而拆除。

表 4. SEI 推動的 VRFB 應用實例

用戶類型	應用性質	系統規格	實施時間
Electric Power Co.	R&D, Substation	450kW x 2H	1996
Office Building	LL	100kW x 8H	2000
Electric Power Co.	R&D	200kW x 8H	2000
NEDO	Wind	200kW x 8H	2000
Contractor	PV (R&D)	30kW x 8H	2001
Factory	UPS / Peak Cut	1500kW x 1H	2001
Developer	UPS / Peak Cut	250kW x 2H	2001
University	LL / Peak Cut	500kW x 10H	2001
Lab.	Peak Cut	42kW x 2H	2001
Electric Power Co.	R&D	100kW x 1H	2003
Office Building	LL	120kW x 8H	2003
Railroad Co.	UPS / Peak Cut	30kW x 3H	2003
Research Center	LL	170kW x 8H	2004
Office Building	R&D	100kW x 2H	2003
Data Center	UPS / Emergency Use	300kW x 4H	2003
Office Building	LL / Emergency Use	100kW x 8H	2004
University	LL / Emergency Use	125kW x 8H	2004
Museum	LL / Emergency Use	120kW x 8H	2005
Electric Power Co.	PV / Grid Control (R&D)	100kW x 4H	2005
NEDO	Wind	4000kW x 1.5H	2005
SUMITOMO	PV / EMS	1000kW x 5H	2012
Contractor	PV / EMS	500kW x 6H	2014
Electric Power Co.	Grid Control	15000kW x 4H	2015

3.3.2 VRFB 電池儲能與電能管理

VRFB 的電池管理可以分類如圖 23.所示:(1)Standalone-schedule:電池的充放電速率及時間完全是依據排程來控制，與電池的狀態無關，此一模式應用於負載平準化 Load leveling; LL)或者削峰填谷(Peak cut)。(2)Standalone-use grid info.: PCS(Power conditional system) 或者 BMS(battery management system)即時量測電廠的電壓、電流以及頻率資訊，PCS 據以決定電池輸出與儲存的功率，此一模式主要應用於再生能源的平穩化。(3)Ext. command: 電池輔的充放電速率及時間依照外界如 SCADA 或者 EMS 的指令來執行，此一模式主要應用於微電網、輔助電源及再生能源的頻率調整。

圖 23. VRFB 的電池管理模式

圖 24.為 VRFB 的放電安排程執行的真實運轉數據記錄，以固定的功率及時間來釋出所儲存的能量，配合 Gas engine 與太陽能的出力提供工場用電需求，使來自於電力公司的用電在 9~17 的時段佔比降至 60%。

圖 24. VRFB 按排程執行放電的真實運轉數據記錄

圖 25. VRFB 為太陽能發電平穩化模式真實運轉數據記錄，在早晨 7 點至下午 4 點太陽能發電充裕之際將剩餘的電力儲存以供應日落之後用電之需求，同時也對 PV 不穩定的輸出達到平穩化的功效。

圖 25. VRFB 太陽能發電平穩化模式真實運轉數據記錄

圖 26.是 VRFB 為風力發電平穩化模式真實運轉數據記錄，在不同的風力發電功率之下，利用 VRFB 蓄電池組的即時快速的充放電交替特性，使得風力發電所呈現的不穩定的輸出達到平穩化的效果。

圖 26. VRFB 風力發電平穩化模式真實運轉數據記錄

圖 27. 是 VRFB VRFB 頻率調整模式之真實運轉數據記錄，在從數據得知跟蹤誤差(Tracking Error)在 2%之內，符合 PNNL-22010 Rev.1 要求。

圖 27. VRFB 頻率調整模式

圖 28. 是 VRFB 在混合式能源微型電網的真實運轉數據記錄，利用 EMS 配合

VRFB 的充放電調整達到負載的功率在 0~2000W 之間，DC Bus 電壓穩定控制在 350V。

圖 28. VRFB 在混合式能源微型電網的運轉模式

在橫濱智慧城市計劃中，住友電工以 sEMSA 能源管理系統結合全鈦氧化還原液流電池儲能系統參與 FEMS 的項目，sEMSA 的特性如圖 29.的說明，利用 10 分鐘短週期的能源供應與需求預測，每 10 秒鐘一次準確即時的電源輸出調度，使生產工場的用電達到最經濟成本。

圖 29. 住友電工 sEMSA 的特性

3.4 LE system 株式会社

LE system 株式会社是位在福岡的中小型企業，由於社長佐藤先生曾到綜合研究所就全鈦液流電池進行技術交流，此次熱忱邀請前往參訪研習。尤其該公司在從油灰中回收鈦金屬來製備全鈦液流電池電解液，有相當獨特的技術。除此之外，佐藤社長在得知本所綠能智慧屋與生態園區推動的概念後，特別推薦在大木町のおおき循環センターくるるん園區，照片 7~10。



照片 7. くるるん園區自助式午餐



照片 8. くるるん園區餐廳外景色



照片 9. くるるん園區餐液肥貯存槽



照片 10. くるるん園區發酵槽及沼氣貯存槽

3.4.1 VRFB 電解液製備

鈮是分佈在世界各地但較為稀有的金屬，但因為數量通常太小，較難達到採礦的經濟規模。因此，大多數鈮來自從磁鐵礦煉鋼生成的礦渣副產品提煉而成。日本新興化工(Shinko Chemical Co., Ltd.)是供應住友電工鈮電解液的上游廠商之一，他們開發從燃油殘渣中提取鈮的製程，目前可供應包括五氧化二鈮在內種類繁多的鈮化合物，其中用途與電力事業較具相關性的如表 5。

表 5. 日本新興化工之電力事業相關鈮化合物產品

產品名稱	分子式	形狀	用途
Vanadium Pentoxide	V_2O_5	Flake/powder	蓄電池電解液
Ammonium Metavanadate	NH_4VO_3	Powder	蓄電池電解液，脫硫與脫硝觸媒
Sodium Metavanadate	$NaVO_3$	Cake (moisture content)	腐蝕抑制劑，脫硫與脫硝觸媒
Potassium Metavanadate	KVO_3	Powder	腐蝕抑制劑，脫硫與脫硝觸媒
Vanadyl Sulfate	$VOSO_4 \cdot XH_2O$	Powder	蓄電池電解液，脫硝觸媒
Catacarb® 922		Liquid	二氧化碳氣體液態吸附劑

資料來源：<http://www.shinko-chem.co.jp/eng/products/vanadium>

在台灣，某些火力發電廠採用燃油鍋爐燃燒重油發電，重油在高溫鍋爐內燃燒所產生的廢氣，除了二氧化碳之外也包含由硫、鈮、鎳等雜質成分所組成之灰份，以及未完全燃燒的碳粒等聚集在一起成為油灰(Oil Fly Ash)。這些油灰殘留在鍋爐管壁者稱為底灰(Bottom Ash)；部份沉積煙道者稱為積灰(Accumulated Ash)；為防止粒狀物擴散造成空氣污染，鍋爐廢氣在排放至大氣之前，會先通過集塵器攔截收集粒狀物，即所謂的燃油集塵灰，通常燃油鍋爐在操作過程中產生少量的底灰與積灰(<0.5%)，以及大量的燃油集塵灰(>99.5%)。部份飛灰在靜電集塵器操作時，有添加液氨提高飛灰之導電度以幫助集塵，另外部份燃油還添加 $Mg(OH)_2$ 以防止煙道腐蝕，所以原本應為強酸性的燃油飛灰，pH 值成為鹼性或呈弱酸性。由於集塵方式與添加物的不同，所得飛灰的化學組成也有部分差異。一般而言，燃油集塵灰由 40~65%的未燃碳、20~30%的硫酸鹽、10%以下的銨鹽、以及各在 1~2%以下的少量金屬物(鈮、鎳、鐵、

矽等)所構成，表 6.是實際採自燃油電廠之集塵灰物理及化學成分分析結果。由表列數據得知鈳含量最高可達 1.67%，是否可回收再利用以做為製備鈳電解液的原料，頗值得進行評估。

表 6. 燃油電廠集塵灰物理及化學成分分析表

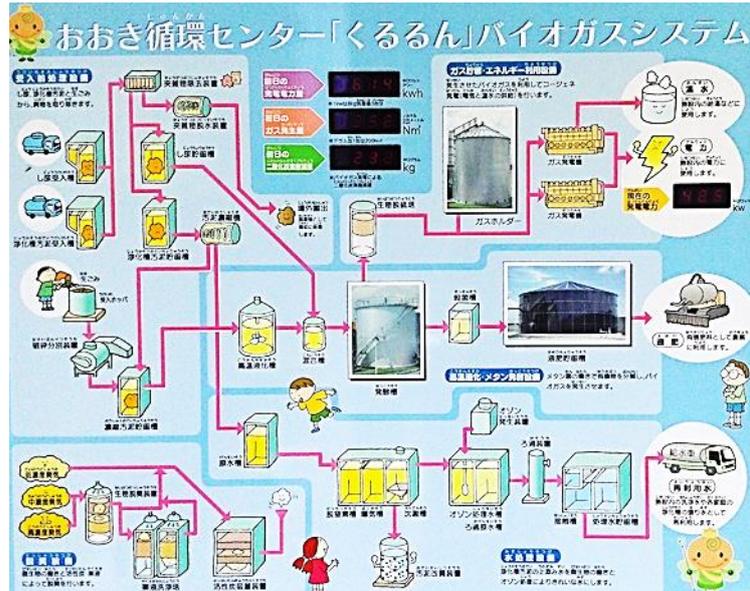
樣品物化性質及組成	A 廠		B 廠			
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5	EP6
物理性質						
外觀	黑灰色粉末	黑色粉末 白色結塊	黑色粉末	灰色粉末	灰色粉末	黑色粉末
d50(um)	64.28	52.62	41.38	49.78	47.65	68.13
堆積密度(g/cm ³)	0.22	0.24	0.21	0.19	0.20	0.29
密度(g/cm ³)	0.66	0.68	0.57	0.69	0.86	1.4
化學性質						
水可溶率(%)	42.61	32.35	23.37	57.53	37.40	35.97
pH 值	7.95	8.43	2.86	2.35	3.18	3.07
灼燒減量(%)	86.81	82.48	86.06	88.23	82.01	86.33
組成成分						
C(%)	50.81	56.7	65.16	40.11	52.83	55.22
NH ₄ ⁺ (%)	9.09	7.27	5.01	11.79	8.54	4.82
SO ₄ ²⁻ (%)	29.82	29.08	22.59	38.13	29.90	23.09
V(%)	0.61	0.40	1.35	1.67	1.58	1.12
Ni(%)	0.81	1.00	0.48	0.58	0.86	0.81
Fe(%)	0.67	0.55	0.44	0.37	1.04	0.69
Cu(%)	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01
Co(%)	0.02	0.05	0.01	0.01	0.03	0.05
Pb(%)	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
Zn(%)	0.05	0.16	0.34	0.25	0.05	0.05
K(%)	0.01	0.04	0.02	0.02	0.04	0.09
Ca(%)	0.01	0.07	0.03	0.03	0.06	0.02
Na(%)	0.39	--	0.72	0.74	--	--
Mg(%)	0.61	2.55	0.25	0.21	0.30	0.09
Al(%)	0.11	0.30	0.58	0.31	0.32	0.53
Si(%)	0.69	--	1.83	0.97	--	--

如何自燃石油焦(Petroleum coke)電廠回收釩氧化物以做為釩電解液的方法，佐藤先生提出了製備偏釩酸銨(ammonia metavanadate)的製程供我們參考，也許可在未來釩電解液的製備上會有所突破。

釩電解液常用的製備方法主要分為化學法和電化學法兩種，化學法是以釩的氧化物或化合物為原料，在固定濃度的硫酸溶液中利用加熱或者加入還原劑，將氧化數較高的釩離子溶液還原成三價或四價混合釩離子溶液的方法。例如 1994 年 Sato Kanji 等人即是利用 5 價釩氧化物或者 NH_4VO_3 在一定的硫酸溶液中用還原劑來製備 V(IV) 電解液，利用化學法製備釩電解液雖然方法簡單，但受到固體溶解速度的限制，以及還原劑難以去除，所以連續式生產較為困難。電化學法是利用電解的方式，利用電解槽中的氧化與還原過程製備出各種價態的釩電解液，最為常見的是以純硫酸做為正極的電解質，五氧化二釩溶解在硫酸溶液中做為負極電解質，以硫酸根離子膜做為隔離膜，在外加電流的作用下，負極的五氧化二釩硫酸水溶液中的五價釩子被電解還原成 V(III)和 V(IV)混合的酸性釩離子電解液。LE system 株式會社採用電化學法製備濃度 1.5~2.0 M/L 電解液曾在 2014 年送到本所進行測試，有相當不錯的性能表現，在討論簡報中展示了電解液製備系統的外觀。也看到了他們安裝於貨櫃中的 12.5kW 驗證評估設備，相當積極的投入全釩液流電池的儲能系統研發。

3.4.2 おおき循環センターくるるん園區

大木町是位於福岡縣南部築後市平原中部，毗鄰濱江區柳川市的農業城鎮，人口約為 14,500 人，面積 18.43 平方公尺。溝渠就佔了全鎮 14% 的面積。おおき循環センターくるるん園區由三井造船株式會社九州支社負責設計施工，建設期間自 2005 年 11 月 15 日~2006 年 10 月 30 日，總工程經費 519,960,000 日元。所建置的設備包括原料驗收貯存、前處理設備、高溫液化、沼氣發酵設備、氣體儲存和能源利用設備、液體肥料儲存設施、水處理設備以及除臭設備等。家庭廚餘及糞尿的處理程序如照片 11. 的說明，每日可以處理 3.8 噸廚餘，7.0 公秉人糞尿，以及化糞池污泥 30.6 公秉。



照片 11. くるるん園區資源化再利用說明看板

根據園方所統計的數據，在最近一年期間處理 1,235 噸的廚餘，2,202 噸的人糞尿以及化糞池污泥 8,459 噸。所產生的沼氣量達到 140,619 立方公尺，用來產生了 242,592 kWh 的電力，而該鎮可燃性垃圾量比興建之前減少了 42.4%。

肆、心得及建議

1. 此次的出國任務以瞭解再生能源電能管理技術為主，由於行前花了不少時間在參訪的廠家安排上。很幸運地，日本最具代表性的三類主流儲能電池廠商如鋰離子電池的東芝株式会社，鈉硫電池的日本礙子株式会社，全鈳氧化還原液流電池的住友電工株式会社都接受我們的申請，安排了研習參訪的機會。
2. 東芝的 SCiB 鋰離子電池從電池材料的研發提高應用的安全性，且資通訊產業以及電力系統的電能管理，原本就是東芝株式会社的強項。因此無論在小型家用的儲能系統，或者在大型的電力系統的應用，都有相當好的表現。配合日本政府「定置用リチウムイオン蓄電池導入支援事業費」推動，6.6kWh 的家庭用鋰離子電池儲能系統售價約新台幣 68 萬元，即 NT\$ 10 萬元/kWh 左右，已經逐漸能夠被一般家庭所接受，若在核電受限以及化石能源短缺供電條件更為嚴峻之際，相信會具有市場價值。
3. 在大型儲能系統的應用方面，東芝主導橫濱智慧城市計劃的 SCADA 與能源管理系統，其 μ EMS(微型能源管理系統) 具備相當完整的能源端的發電排程管理與預測，儲能設備調控與管理，負載端的管理與負載預測，以及參與需量反應的機制。
4. 日本礙子在 NaS 電池領域獨領風騷，截至目前已建置 450MW/3000MWh 的儲能系統是蓄電池儲能系統的翹楚，受到 2011 年變電站起火的影響而減緩了建置的速度，在 2015 年度經過安全措施的改善獲得販售許可。所安排參觀的森ヶ崎水再生センター之 NaS 電池組從 2005 年 5 月至今已剛好滿 10 年，仍具有良好性能可見是項經得起考驗的儲能技術，目前儲能電池的價格約 NT\$ 15,000 /kWh，是大型儲能系統中價格最低廉者。只是目前仍以 2MW 為最小的銷售單元，若欲引進評估恐所費不貲，尚需克服經費的問題。
5. 日本礙子並未針對其儲能電池發展能量管理系統，僅以 NaS 電池具備的容量大、能源密度高、壽命長的特點來達到長時間穩定地提供電力的目的。NaS 電池透過 PCS 配合電力系統的管理完成削峰填谷、供應緊急電源、穩

定再生能源電力輸出達到平滑化，以及頻率調整等蓄電池的基本功能。

6. 住友電工是國際上全鈳氧化還原液流電池的技術領導者，2015 年在 NEDO 的補助下於北海道建立 15MW/60MWh 的儲能示範系統，是目前所見最大的儲能系統，住友電工目前的生產速度可到 20MW/年。但儲能電池的價格仍在 NT\$ 48,000 /kWh。
7. 住友電工以其近 20 年在大型儲能系統的基礎所發展的 sEMSA 能源管理系統結合全鈳氧化還原液流電池儲能系統在橫濱智慧城市計劃中參與 FEMS 的項目，利用 10 分鐘短週期的能源供應與需求預測，每 10 秒鐘一次準確即時的電源輸出調度，使生產工場的用電達到最經濟成本。
8. LE system 株式會社的研習除了以鈳電解液製備的主題外，對於資源化再利用的課題亦收獲良多。無論從垃圾資源化、生活環境的改善以及理念推動實務面作法等頗有感觸，建議主政的環保署等相關單位有機會應可前往參訪，會良好的生活環境多些努力。
9. 儲能市場日趨重要，能量管理不僅在負載端或能源端，在未來的發展國際上已朝向能源、儲能、負載管理的整合型，建議國內的資通訊產業應積極的投入，若待國外能源管理系統更臻成熟，勢將再無立足空間。
10. 從日本幾家儲能技術領先業者的經營歷程，不難看出其各有本業且在個自市場中具有強競爭力，但在儲能的關鍵：電池技術都經歷大量人力的投入佈局，以及漫長的研發時程，以致能成就今日的地位。相信事實能給目前台灣講求速成、不能務實的研究氛圍，產生相當大的警惕作用。驥望主事者能深謀遠慮，為台灣科技能在各領域爭得一席之地。